

グラウト再注入工法の横桁内PC鋼材への適用に関する一考察

西日本高速道路(株)	正会員	工博	○本荘	清司
(株)国際建設技術研究所	非会員			藤原 規雄
(株)ピーエス三菱	正会員			田中 寛規
(株)ピーエス三菱	正会員	工博		鴨谷 知繁

1. はじめに

近年、高齢化した橋梁の多くで劣化が顕在化しており、適切な維持管理によって健全性を確保し、長寿命化を図ることが重要となっている。高速道路においても、供用後30年以上経過した区間が全国で約3,700 kmとなっており、大型車交通量の増加や厳しい環境下にある土木構造物では劣化が顕在化してきている。とくに、中国地方の高速道路は、供用後30年で凍結防止剤の累積散布量が1,000t/kmを超える状況にあり、多くの構造物で早急な対策が必要となっている¹⁾。

今回は、ポストテンション方式のプレストレストコンクリート橋（以下、PC橋という）の端支点横桁で見つかったグラウト充填不足の横締めPC鋼材にグラウト再注入工法を適用した事例を報告する。

2. 補修事例の概要

今回の事例の補修対象は、PC3径間連続合成桁橋の端支点横桁の横締めPC鋼材（以下、横締めという）である。漏水の影響で塩害劣化した端支点横桁の補修工事で脆弱化したコンクリートをはり取り取った際、露出した一部の横締めにおいてグラウト充填不足と鋼材の腐食が見つかった（写真-1および図-1参照）。

これを受けて、他の横締め（端支点横桁の横締めは全8本）の状況把握と補修方法を検討することとなった。なお、当橋梁は冬期に多量の凍結防止剤を散布する路線にあり、また、桁端部は伸縮装置からの漏水の影響で将来的にも凍結防止剤による塩害が生じ易い条件にあることから、補修後も長期的にPC鋼材に腐食を生じさせないような補修方法を採用する必要がある。



写真-1 端支点横桁の劣化状況

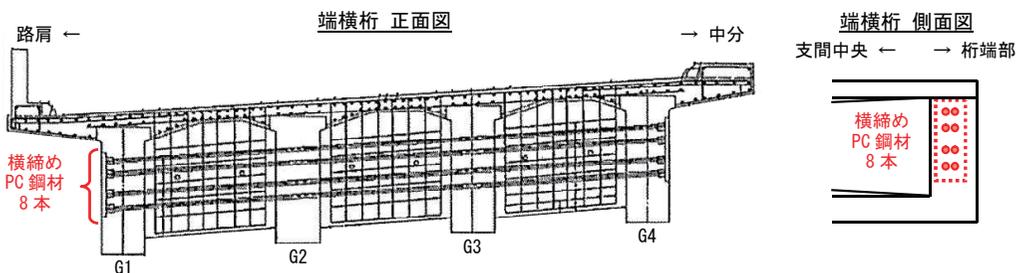


図-1 端支点横桁の横締めPC鋼材の配置

3. 事前調査

補修の検討に先駆け、端支点横桁の横締め8本についてのグラウト充填度を調査した。今回の調査では、まず、非破壊的な衝撃弾性波法で各横締めについて全長のグラウト充填状況を調査した。その後、支間側の4本については、インパクトエコー法で充填不足の可能性のある範囲を推定し、削孔法で実際のグラウト充填状況およびPC鋼材の腐食状況を確認した（写真-2～写真-4参照）。



写真-2 衝撃弾性波法



写真-3 インパクトエコー法



写真-4 削孔法

3.1 衝撃弾性波法によるグラウト充填度の調査

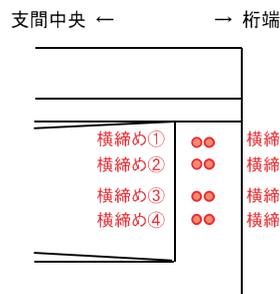
衝撃弾性波法は、横締めめ端部から機械的打撃で入力した弾性波をもう一方の端部に設置した振動センサーで測定し、その伝播状況から横締め全長のグラウト充填状況进行评估する。鋼材を伝播する弾性波はコンクリートよりも速くて大きな振幅であるため、グラウト充填不足の横締めめでは速くて大きな振幅の波が測定されるが、充填されている場合はグラウトによる拘束の影響で鋼材を伝わる弾性波が減衰してしまうため、測定されるのはコンクリートを伝わった遅い速度の小さな振幅の波となる。

各横締めめの衝撃弾性波法の測定結果は表-1に示すとおりで、いずれも伝播速度がPCコンクリートの標準的な弾性波速度(4000~4600m/sec程度)よりも速いことから、充填不足があると判定された。

表-1 衝撃弾性波法の調査結果

鋼材 No.	出入力比 ($\times 10^{-2}$)	伝播距離 (m)	伝播時間 (msec)	伝播速度 (m/sec)	グラウト 充填度	備 考
①	0.051	8.227	1.678	4900	部分的 充填不足	一部の素線に 破断あり
②	0.279	8.227	1.711	4810	部分的 充填不足	
③	0.040	8.227	1.663	4950	部分的 充填不足	
④	0.072	8.227	1.672	4920	部分的 充填不足	
⑤	0.083	8.227	1.678	4900	部分的 充填不足	
⑥	1.186	8.227	1.637	5030	部分的 充填不足	空隙部 大
⑦	0.041	8.227	1.715	4800	部分的 充填不足	
⑧	0.022	8.227	1.745	4710	部分的 充填不足	空隙部 小

端横桁 側面図



3.2 インパクトエコー法および削孔法による充填不足範囲の調査

横締め8本のうち支間側の4本については、各主桁間においてインパクトエコー法も実施し、グラウト充填不足の範囲を調査した。インパクトエコー法は、躯体表面においてPC鋼材の直上から鋼球打撃で弾性波を入力し、その反射波を振動センサーで測定する調査手法である。グラウト充填不足のシースがあると弾性波がシースとの境界で反射し、躯体表面との間で多重反射が生じる。ゆえに、測定波形の周波数スペクトルにおいて、シースからの多重反射に相当する周波数付近にピークが見られた場合をグラウト充填不足の可能性があると判定する。

表-2 インパクトエコー法および削孔法の調査結果

鋼材 No.	測定箇所	シース かぶり (mm)	インパクトエコー法の測定結果			実際の 充填状況 (削孔法)
			シースの*1 多重反射	ピークの 有無	充填度*2 の評価	
横締め ①	G1-G2 間	58	30.3kHz	有り	△	充填不足
	G2-G3 間	55	32.0kHz	有り	×	充填不足
	G3-G4 間	38	46.3kHz	有り	△	充填不足
横締め ②	G1-G2 間	62	28.4kHz	無し	○	充填
	G2-G3 間	51	34.5kHz	有り	△	充填不足
横締め ③	G2-G3 間	40	44.0kHz	有り	△	充填不足
	G1-G2 間	61	28.9kHz	有り	△	充填不足
	G2-G3 間	57	30.9kHz	有り	△	充填不足
横締め ④	G3-G4 間	58	30.3kHz	有り	△	充填不足
	G1-G2 間	65	27.1kHz	無し	○	充填
	G2-G3 間	54	32.6kHz	有り	×	充填不足
	G3-G4 間	57	30.9kHz	有り	△	充填不足

*1: 端横桁の板厚多重反射から弾性波速度を 3520m/sec として算出。

*2: インパクトエコー法によるグラウト充填度の評価

○ 充填, △ 充填不足の可能性あり, × 充填不足, ※ 評価不可

インパクトエコー法の調査結果は表-2に示すとおりで、いずれの横締めについてもほとんどの桁間に充填不足があると判定された。

その後、ドリルを用いた削孔法(削孔径 ϕ 25mm)で充填不足部のシース内部の状況を調査したところ、空隙の大きさはさまざまであることが確認された。また、いずれの横締めも両端の定着部付近にはグラウトが充填されていたことから、建設時のグラウト注入工において、途中で閉塞したシースの両側からグラウトを注入したものと推察された。

なお、削孔箇所からCCDカメラでPC鋼材を観察したところ、補修工事で露出した最上段の横締め以外に顕著な腐食は見られなかった(写真-5~写真-7参照)。



写真-5 シース内の状況
(横締め② G3-G4 間)



写真-6 シース内の状況
(横締め③ G3-G4 間)



写真-7 シース内の状況
(横締め④ G3-G4 間)

4. 補修方法の検討

主桁間の横桁表面からの削孔が可能な支間側の横締め4本を対象に、グラウト再注入工法による補修を行うこととした。

これらの施工においては、①シース内の空隙の大きさが一様ではなく、閉塞に限りなく近い区間も存在すること、②主桁端部の横締めシースが配置された箇所ではグラウト再注入用の削孔が不可能であること、③端支点横桁コンクリートは主桁との打継目にジョイントシースが配置されていることから注入したグラウト材が漏れ出す可能性があること、などの難条件が存在した。これらに対応するため、排気用の外径2.5mm(内径2.0mm)の高弾性細径チューブをシース内の空隙の上端まで挿入することで、主桁内を含めたシースの隅々までグラウト材を充填させた²⁾。また、真空ポンプを使用してシース内の通気確認を行い、その真空度によって横桁の打継目からの漏気状況を確認するものとした²⁾。グラウト再注入時の状況を写真-8および写真-9に示す。

なお、横締めPC鋼材の定着部からの通気が確認され、周辺部をモルタルにて埋め戻しを行ったが、それでもわずかな通気が生じた。主桁と横桁との打継目での影響も考えられたが、橋面や桁端部から横締めシース内まで続く空隙や脆弱部が存在する可能性があるかと推察された。

グラウト再注入の前には、亜硝酸リチウム水溶液を注入した(グラウト注入前に排出)。再注入のグラウト材には、PCグラウトの管理基準⁴⁾を満足する亜硝酸リチウムを添加したグラウト材を採用²⁾したが、事前に流動性の高い水溶液を注入することで、空隙の非常に小さな箇所までPC鋼材表面の再不動態化による腐食抑制が期待できる⁵⁾。



写真-8 グラウト再注入状況



写真-9 グラウト再注入状況

5. グラウト再注入の施工

グラウト再注入工法の施工フローを図-2に示す。

真空ポンプを使用した通気確認では、亜硝酸リチウム水溶液の注入時における漏水を防ぐためのシール処理を行ったが、主桁と横桁との打継目にて漏水を生じた。

注入作業は自然流下方式を採用したことで、注入材の液面高さを対象のシース高さ以上で管理した。亜硝酸リチウム水溶液による不動態化については自然電位を測定することで管理した。



図-2 施工フロー

6. 事後調査

グラウトを再注入した横締めについては、施工完了後に非破壊調査（衝撃弾性波法およびインパクトエコー法）でグラウトが確実に充填されたことを検証した。また、空隙などの状況から注入作業に時間を要した箇所については、小径コアボーリング（ボーリング径φ30mm）と目視観察で実際のグラウト充填状況を確認した。

各調査の結果は表-3に示すとおりで、いずれの横締めについてもグラウトが充填されていたことが検証された。

表-3 施工後の確認調査の結果

鋼材 No.	衝撃弾性波法				インパクトエコー法				削孔法	
	伝播速度 (m/sec)		入出力比 ($\times 10^{-2}$)		測定箇所	シースからの多重反射		事前	事後	
	事前	事後	事前	事後		事前	事後			
横締め①	4900	4840	0.051	0.070	G1-G2	有り	無し	充填不足	充填	
					G2-G3	有り	無し	充填不足	充填	
					G3-G4	有り	無し	充填不足	—	
横締め②	4810	4790	0.279	0.093	G1-G2	無し	無し	充填	—	
					G2-G3	有り	無し	充填不足	—	
					G3-G4	有り	無し	充填不足	充填	
横締め③	4950	4590	0.040	0.029	G1-G2	有り	無し	充填不足	充填	
					G2-G3	有り	無し	充填不足	—	
					G3-G4	有り	無し	充填不足	—	
横締め④	4920	4120	0.072	0.022	G1-G2	無し	無し	充填	—	
					G2-G3	有り	無し	充填不足	—	
					G3-G4	有り	無し	充填不足	充填	

7. まとめ

グラウト充填不足に対して衝撃弾性波法とインパクトエコー法の非破壊調査の適用性について、部分的なコア削孔による微破壊調査により検証した結果、グラウト再注入前後の充填度を把握できる可能性があることが分かった。なお、隣接して配置されるシースへの影響や空隙が小さい場合は十分に検出できない可能性もあり、併用して判定精度の向上を図ることが望ましいことが分かった。

また、グラウト再注入工法では、シース内の空隙が小さい場合、グラウト材充填不足が生じ易いことから高弾性細径チューブによるグラウト注入施工が有効であった。なお、亜硝酸リチウム水溶液の注入により、シース内のグラウト充填不足箇所の空隙が小さい場合のPC鋼材の防錆処理を行った。

本稿が、端支点横桁のグラウト充填不足に対する対策として参考となれば幸いである。

参考文献

1) 東・中・西日本高速道路株式会社：高速道路資産の長期保全及び更新のあり方に関する技術検討委員会 最終報告書, 2014. 1, 2) 鴨谷ほか：グラウト充てん不足を有するPC橋の長寿命化, プレストレストコンクリート vol. 56, No. 1, pp. 17-22, 2014. 1, 3) 東・中・西日本高速道路株式会社：構造物施工管理要領, pp. 2-147~2-161, 2014. 7, 4) プレストレスト・コンクリート建設業協会：PCグラウト&プレグラウトPC鋼材施工マニュアル(改訂版), pp. 45-75, 2013. 8, 5) 鴨谷ほか：グラウト未充てん部における腐食PC鋼材の補修方向に関する実験的検討, プレストレストコンクリート工学会 第20回プレストレストコンクリートの発展に関するシンポジウム論文集, pp. 17-20, 2011. 10,